

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

О. М. Муравина, И. А. Пономоренко

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 30 апреля 2016 г.

**Аннотация:** рассматриваются особенности применения метода группового учета аргументов (МГУА) при идентификационном моделировании геолого-геофизических данных. Использование модифицированного комбинаторного многорядного алгоритма, реализованного на языке C++, открывает новые возможности работы с геофизической информацией специальных форматов.

**Ключевые слова:** метод группового учета аргументов, идентификационное моделирование, геофизическая информация.

### FEATURES OF APPLICATION OF THE GROUP METHOD OF DATA HANDLING AT IDENTIFICATION MODELLING OF GEOLOGIC-GEOPHYSICAL DATA

**Abstract:** features of application of the Group Method of Data Handling (GMDH) at identification modeling of geologic-geophysical data are considered. Use of the modified combinatory multirow algorithm realized in the C++ language opens new opportunities of work with geophysical information of various formats.

**Key words:** Group Method of Data Handling, GMDH, identification modeling, geophysical information.

#### Введение

Метод группового учета аргументов представляет собой индуктивный метод структурно-параметрического моделирования, позволяющий выявить неявные взаимосвязи между различными геолого-геофизическими данными, как линейного, так и нелинейного характера. Предложенный в 80-е годы прошлого столетия академиком А. Г. Ивахненко [1], метод получил широкое распространение при исследовании экспериментальных данных в различных сферах деятельности. В работе [2] были обоснованы предпосылки использования метода при интерпретации геофизических данных, а в дальнейшем были получены многочисленные примеры эффективности МГУА при интерпретации данных каротажа [3–5] и анализе структуры поля геомагнитных вариаций [6]. Применение метода в процедуре построения комплексных петрофизических моделей литосферы по геофизическим данным позволили успешно решить задачи классификационного характера [7, 8].

Практика применения метода ГУА выявила особенности применения метода, связанные со спецификой геофизических и петрофизических данных. В первую очередь, это касается процедуры формирования обучающего и тестового множеств. В классическом алгоритме, в случае использования критерия регулярности, входная последовательность разбивается на обучающую и проверочную последовательности,

как правило, в соотношении (0,7 : 0,3). При этом, тестовая последовательность формируется в нижней части таблицы входных данных, что обусловлено решением задачи прогноза поведения зависимой переменной. Например, при интерпретации данных каротажа МГУА решаются такие задачи как литологическое расчленение разреза, выявление зон коллектора и идентификация его типа. В этом случае для получения корректных результатов тестовая последовательность должна быть сформирована таким образом, чтобы отражать все возможные значения зависимой переменной. Параметры геофизических полей, как правило, представлены выборками больших размеров, что позволяет использовать при формировании тестовой последовательности случайный отбор или метод прореживания данных с контролем репрезентативности тестовой выборки. При решении классификационных задач с целью проверки принадлежности условного элемента выборки к определенному классу по комплексу геолого-геофизических данных, возникает необходимость задания классификационного диапазона с учетом вариации зависимой переменной и погрешности исходных параметров.

Отмеченные выше проблемы, а также необходимость работы с данными специальных форматов, используемых в практике геофизических измерений, потребовали разработки новой программной версии алгоритма МГУА. Разработанная программа реализу-

ет многорядный алгоритм с комбинаторным перебором вариантов на языке С++, который отвечает современному уровню программирования и позволяет создавать эффективные программные продукты.

### Структура алгоритма

Входные данные представляются матрицей, число строк которой соответствует объему последовательности наблюдений (число точек наблюдений, количество образцов с петрофизическими измерениями и т.д.). Каждый столбец таблицы отвечает тому или иному геолого-геофизическому параметру. Это могут быть данные измерений геофизических полей, результаты петрофизических наблюдений, формализованные геологические атрибуты, пространственные координаты. Исходя из решаемых задач, зависимой переменной назначается любой столбец входной таблицы, тогда все остальные столбцы становятся пере-

менными-аргументами.

В качестве опорного уравнения используется полином Колмогорова-Габора второй степени (1).

$$y = a_1 + a_2 x_1 + a_3 x_2 + a_4 x_2 x_1 \quad (1)$$

Как показывает практика предыдущих исследований, такое опорное уравнение позволяет генерировать модели разной степени сложности, начиная от простых линейных форм до сложных нелинейных многопараметрических зависимостей.

Генерация модели текущего ряда осуществляется по маске сочетаний, в которой отсутствует номер столбца, заданного как зависимая величина.

Задаются следующие параметры: тип внешнего критерия, способ формирования обучающей и тестовой последовательностей, количество лучших моделей, переходящих в следующий ряд, количество рядов и др. (рис. 1).

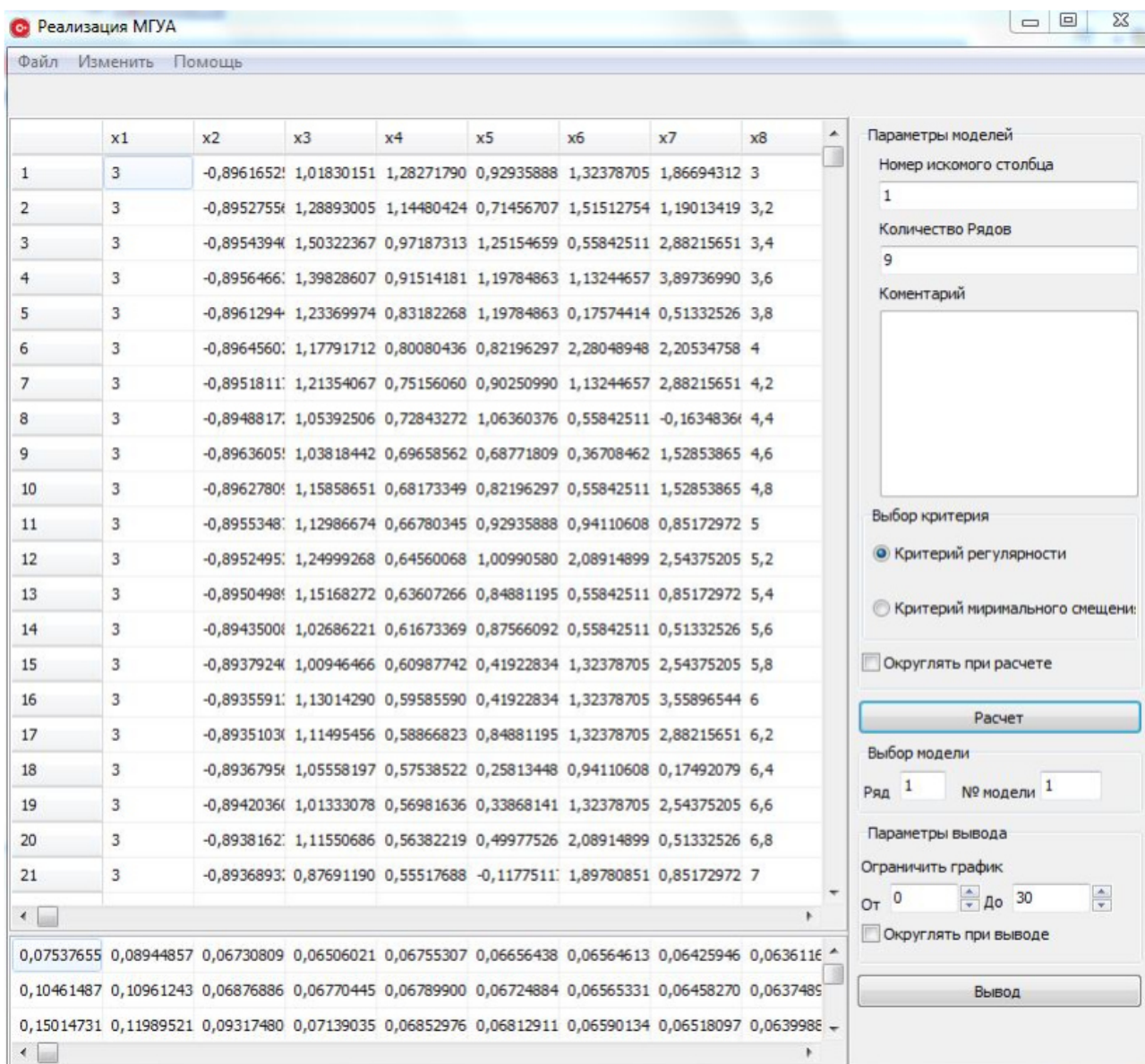


Рис. 1. Рабочее окно программы

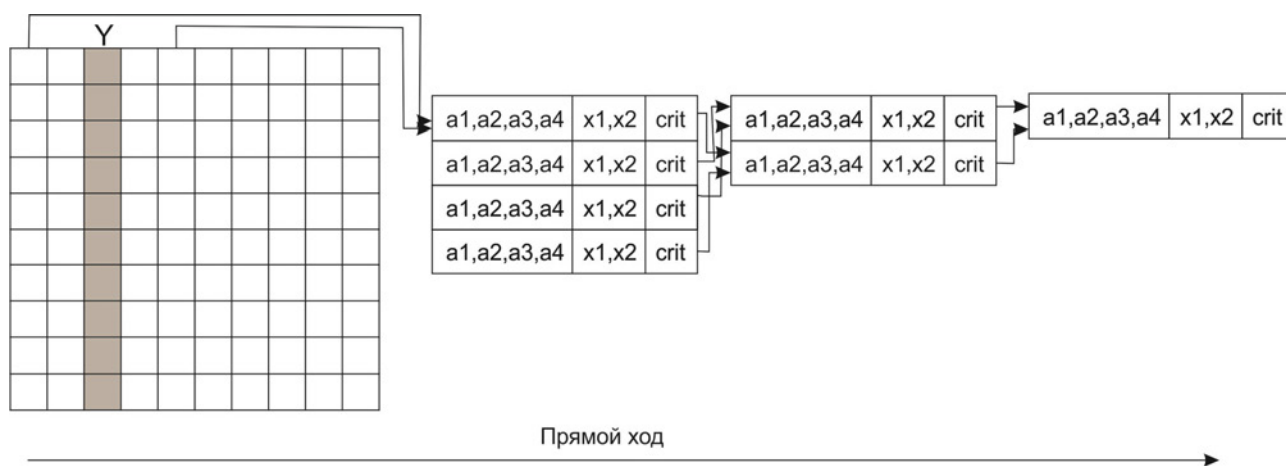


Рис. 2. Организация прямого хода генерации моделей:  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – коэффициенты полинома,  $x_1, x_2$  – номера столбцов-аргументов, генерирующих модель; параметр «crit» – численное значение критерия. Номер столбца таблицы соответствует номеру ряда.

Таблица входных данных разбивается на обучающую и проверочную последовательности, которые тестируются на репрезентативность данных относительно зависимой переменной.

Генерация моделей выполняется в процедуре «прямого хода» (рис. 2). Сгенерированные модели хранятся в выходной многоуровневой таблице. Каждая ячейка такой таблицы содержит информацию о модели одного ряда. Модель полностью описывается следующими параметрами: коэффициентами модельного уравнения  $a_1, a_2, a_3, a_4$ ; номерами столбцов, порождающих модель  $i, j$  и численным значением внешнего критерия - «crit». Каждый столбец таблицы соответствует одному селекционному ряду.

После генерации моделей первого ряда создается вектор моделей, из которого по параметру «crit» выбирается некоторое количество лучших моделей-претендентов, которые переходят в следующий ряд. Из отобранных моделей генерируется базовая таб-

лица второго ряда. Процесс повторяется до тех пор, пока не формируются все модели всех заявленных рядов. В процессе многорядного перебора зависящая переменная не изменяется. В первом ряду переменными-аргументами являются входные данные, а начиная со второго ряда и во всех последующих рядах, переменными-аргументами являются модели предыдущего ряда. Множество векторов моделей формируют единую таблицу моделей.

Оптимальная модель определяется автоматически по минимальному значению внешнего критерия. В программе также предусмотрен выбор любой модели, интересующей пользователя. Вычисление модельных значений зависимой переменной выполняется в процессе процедуры обратного хода с помощью соответствующей ступенчатой таблицы (рис. 3).

На рис. 4 представлено окно вывода результатов идентификационного моделирования.



Рис. 3. Организация обратного хода – вычисление модельных значений зависимой переменной по значениям модельных коэффициентов и переменных аргументов всех задействованных рядов.

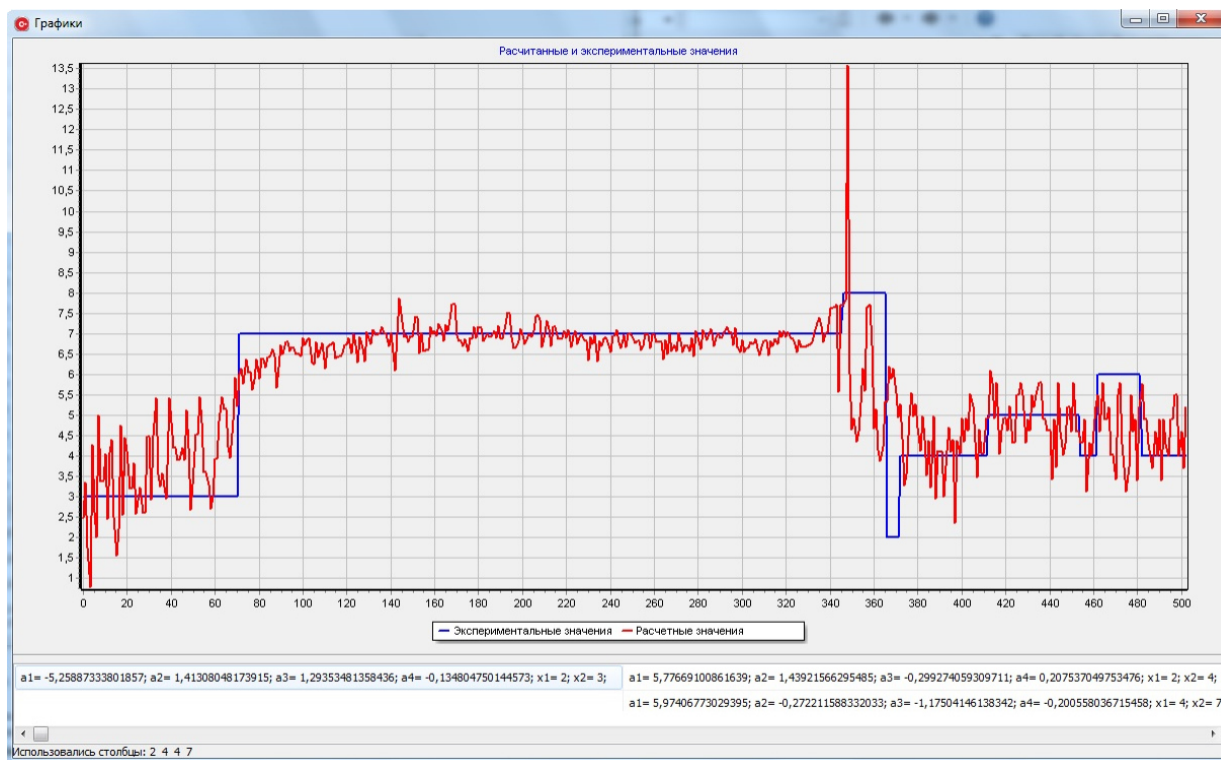


Рис. 4. Рабочее окно программы. Результаты литологического расчленения разреза по данным каротажа. Зависимая переменная – литологический индекс, переменные аргументы – значения измеренных геофизических полей.

### Выводы

Разработанная модификация программы, реализующей алгоритм группового учета аргументов на языке программирования С++ позволяет адаптировать метод для интерпретации геофизических и петрофизических данных с учетом опыта предыдущих исследований. Представленная программная реализация МГУА может быть рекомендована для внедрения в практику геолого-геофизических исследований.

Исследования выполнены в рамках гранта РФФИ № 16-05-00975.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ивахненко, А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А. Г. Ивахненко. – Киев : Наук. думка, 1982. – 296 с.
2. Муравина, О. М. Метод группового учёта аргументов при анализе геофизических данных / О. М. Муравина // Геофизика, 2012. – № 6. – С. 16–20.
3. Муравина, О. М. Возможности метода группового учета аргументов при анализе геофизических данных / О. М. Муравина // Каротажник, 2013. – № 6 (228). – С. 32–39.
4. Аузин, А. А. Статистический анализ данных каротажа

методом группового учета аргументов / А. А. Аузин, О. М. Муравина // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология, 2010. – № 2. – С. 219–224.

5. Аузин, А. А. О возможности оптимизации комплексов геофизических исследований в скважинах при поисках месторождений рудных полезных ископаемых антеклизы / А. А. Аузин, О. М. Муравина // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж. – 2013. – № 1. – С. 184–188.

6. Груздев, В. Н. Анализ структуры поля геомагнитных вариаций в пределах ВКМ методом группового учета аргументов / В. Н. Груздев, О. М. Муравина, А. С. Сапранова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. : Геология. – 2012. – № 1. – С. 182–188.

7. Муравина, О. М. Пространственный анализ распределения плотности докембрийских образований Воронежского кристаллического массива / О. М. Муравина, В. И. Жаворонкин, В. Н. Глазнев // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле: мат-лы XV международной конференции. – М. – 2014. – С. 171–173.

8. Glaznev, V. N. Complex geological–geophysical 3D model of the crust in the southeastern Fennoscandian Shield: Nature of density layering of the crust and the crust–mantle boundary / V. N. Glaznev, M. V. Mints, O. M. Muravina, A. B. Raevsky, L. G. Osipenko // Geodynamics & Tectonophysics. – 2015. –V. 6. – P. 133–170.

Воронежский государственный университет

Муравина Ольга Михайловна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики  
E-mail: muravina@geol.vsu.ru; Тел.: +7 (473) 220-83-85

Пonomоренко И. А., студент 4 курса бакалавриата  
отделения геофизики геологического факультета  
E-mail: kochuma@yandex.ru; Тел.: +7 (473) 220-83-85

Voronezh State University

Muravina O. M., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Professor assistant of Geophysical Department  
E-mail: muravina@geol.vsu.ru; Тел.: +7 (473) 220-83-85

Ponomorenko I. M., Student 4-th courses of a Bachelor Degree, Geophysical Department  
E-mail: kochuma@yandex.ru; Тел.: +7 (473) 220-83-85